



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Analizzare l'uso dell'energia in un sistema urbano

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Analizzare l'uso dell'energia in un sistema urbano / Baldi, Marta Giulia; Grazzini, Giuseppe. - In: BOLLETTINO INGEGNERI. - ISSN 2035-2417. - STAMPA. - (2016), pp. 3-11.

Availability:

This version is available at: 2158/1075503 since: 2017-02-21T11:58:47Z

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

Analizzare l'uso dell'energia in un sistema urbano

Marta Giulia BALDI, Giuseppe GRAZZINI

Dipartimento Ingegneria Industriale, Università di Firenze

RIASSUNTO

Il cambiamento climatico e l'attenzione per l'ambiente richiedono di conoscere e migliorare la resilienza energetica dei centri urbani come garanzia di sicurezza sociale. Conoscere come la città usa l'energia, le sue forme, è l'occasione per tentare una visione razionale e integrata mirando a una riduzione dell'impatto ambientale dell'uso dell'energia. La conoscenza è quindi la base per qualsiasi tipo di analisi e definizione di strategie di risparmio energetico e mitigazione delle emissioni.

Varie tecniche di modellazione e mappatura degli usi dell'energia a scala urbana vengono presentate come descritte in alcune recensioni [Kavgic et al., 2010] [Keirstead et al., 2012] e nei principali articoli che trattano modelli per gli usi dell'energia a scala urbana [Grazzini et al., 2008] [Swan et al., 2013] [Fonseca et al., 2015].

ABSTRACT

Climate change related issues and environmental sustainability require to measure and improve the energy resilience of urban environment as a guarantee of social security. In order to have a rational and integrated vision of the urban energy use and management and to reduce the environmental impact, we need to understand what kind, how and where the city use the energy. Once we have understood the urban energy use and the different forms of energy implied in the process we can define strategies for energy savings and emission mitigation. Many scholars have developed models and metrics in order to estimate the different uses of the energy in the urban environment. In this context we will report two up-to-date reviews by [Kavgic et al., 2010] and [Keirstead et al., 2012] and we then focus our attention on spatio-temporal energy models [Grazzini et al., 2008] [Swan et al., 2013] [Fonseca et al., 2015].

INTRODUZIONE

La politica energetica europea mira alla riduzione dei consumi energetici del patrimonio edilizio. Secondo le analisi sugli andamenti degli obiettivi dell'EU, questo processo è ad oggi in ritardo. Per accelerare il raggiungimento dell'obiettivo EU, la conoscenza complessiva della quantità di energia che la città usa attraverso i suoi edifici diventa essenziale per quantificare, analizzare e poi programmare interventi che ne riducano l'uso.

L'attuazione di strategie efficienti e razionali attuate nel parco immobiliare riducono inoltre le emissioni di CO₂ come richiesto dalle politiche europee, ma richiedono l'applicazione di modelli completi di analisi urbana. Questi ultimi possono valutare il fabbisogno energetico di base del patrimonio edilizio esistente, esplorare gli effetti tecnici ed economici delle diverse strategie di intervento nel corso del tempo e per identificare l'effetto delle strategie di riduzione delle emissioni sulla qualità ambientale.

In questo senso sono stati sviluppati modelli che possano rispondere alla necessità di identificare lo stato attuale e potenziale dell'uso di energia

degli edifici nel contesto della trasformazione urbana.

GLI APPROCCI DI MODELLAZIONE

Negli ultimi anni i pianificatori territoriali non possono risolvere i problemi spaziali e energetici delle città prescindendo dalla conoscenza dei problemi energetico-ambientali e delle dinamiche socio economiche, solo la loro mappatura permetterà di costruire sostenibilità. Le città sono sistemi termodinamici in cui la prestazioni energetiche degli edifici è rilevante: essi sono sistemi complessi e interrelati tra loro dal punto di vista termodinamico, per cui sono necessari modelli completi per valutare gli effetti derivanti dall'adozione di misure di efficienza energetica degli edifici. Dal punto di vista urbano, gli edifici possono essere visti come utilizzatori di energia, con i vettori energetici che entrano ed escono, ovviamente degradati.

Per la modellazione urbana degli usi energetici, due sono le categorie principali con cui possono essere identificati gli approcci alla modellazione: top-down e bottom-up. Essi sono identificati dall'IEA [IEA, 1998] come mostra schematicamente la Fig. 1.

APPROCCIO TOP-DOWN

Un approccio top-down lavora a livello aggregato ed ha come scopo la costruzione di un trend storico degli usi energetici considerando il settore residenziale semplicemente come un unico dissipatore di energia senza considerare i diversi usi finali. Questo metodo prevede l'utilizzo di dati aggregati sull'uso dell'energia dell'intero settore associati a indicatori di macro economia (modelli econometrici), come il prodotto interno lordo, il tasso di disoccupazione o l'inflazione, oppure con il prezzo dell'energia e il profilo climatico [Swan et.al, 2009].

APPROCCIO BOTTOM-UP

L'approccio bottom-up è quello più usato e preciso se lo scopo è l'analisi urbana. Esso comprende tutti i modelli che utilizzano dati di ingresso ad un livello gerarchico inferiore rispetto all'approccio top-down, con lo stesso scopo di valutare gli usi dell'energia del settore nel suo complesso (Fig. 2). Attraverso l'approccio bottom-up è possibile stimare gli usi energetici non solo a livello nazionale, ma anche a livello regionale o comunale attraverso la stima di un insieme rappresentativo di edifici.

Durante le ultime due decadi è stato sviluppato un numero significativo di metodi con approccio bottom-up per la sviluppo di una caratterizzazione spazio-temporale dei servizi energetici alla scala urbana.

Le più rilevanti applicazioni, basate su metodi statistici, analitici o ibridi, si sono rivelate semplici e robuste [Balocco et al., 1997] [Swan et al., 2013] [Reinhart et al., 2013] [Girardina et al., 2010].

MODELLI STATISTICI

I modelli statistici sono semplici e robusti: sono basati su dati storici collezionati e prevedono di valutare i consumi energetici di ogni edificio in funzione della tipologia edilizia, del profilo di occupazione e delle apparecchiature utilizzate. Essi richiedono un relativamente piccolo ammontare di informazioni [Swan et al., 2009]. Però la loro limitata caratterizzazione dei servizi energetici [Farzana et al., 2014] [Mikkola et al., 2014] [Howard et al., 2012] combinata con una grossolana

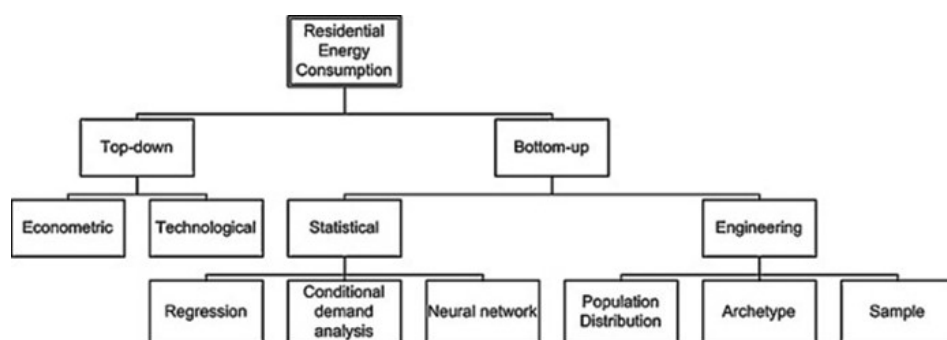


Figura 1: Tecniche di modellazione top-down e bottom-up per la stima degli usi energetici nel settore residenziale [Swan et al., 2009].

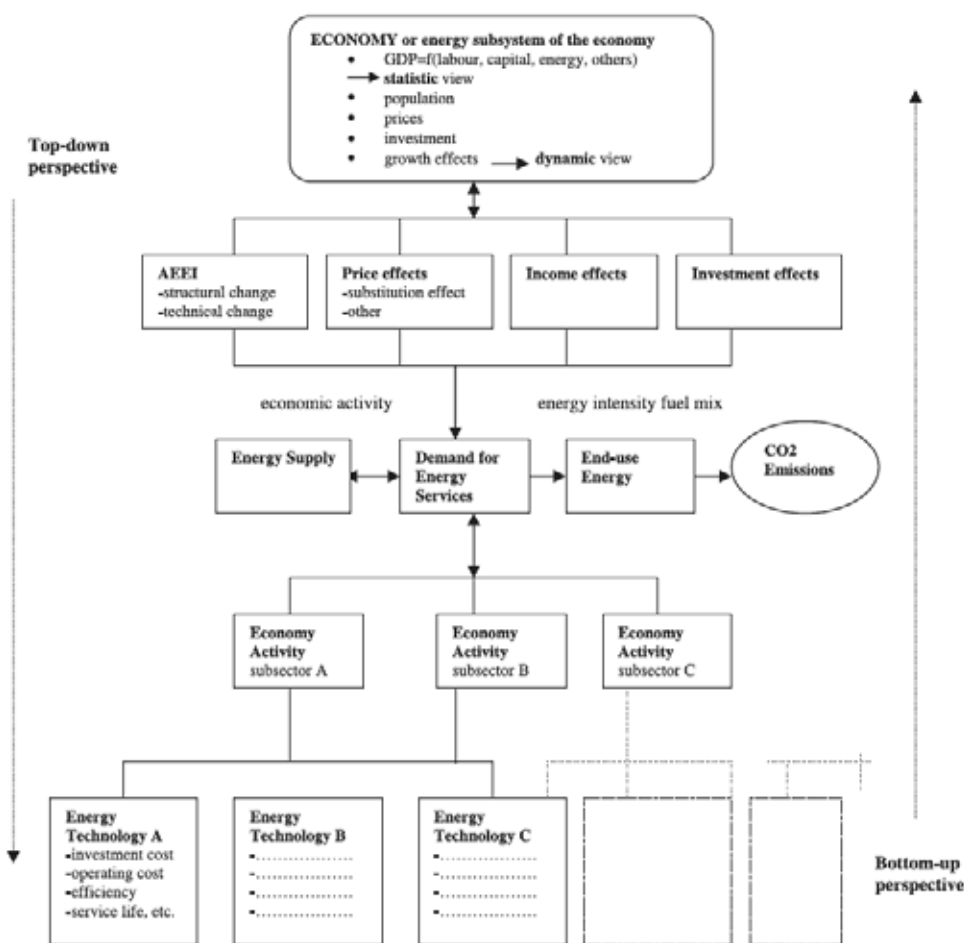


Figura 2: Approcci Top-down e bottom-up (adattato da [IEA, 1998]).

risoluzione di analisi spazio-temporale [Sartori et al., 2009] [Firth et al., 2010] rende difficile il loro utilizzo per lo studio dell'effettiva efficienza energetica di un quartiere urbano.

MODELLI ANALITICI

In contrasto con metodi statistici, i metodi analitici si basano su un approccio fisico, studiando le complesse relazioni termodinamiche e descrivendo lo scambio di energia e materia tra edifici,

utenti e ambiente circostante.

Attraverso questi metodi si ottengono generalmente una caratterizzazione completa dei servizi energetici negli edifici, in qualsiasi scala spaziale o temporale. Tuttavia, la loro attuazione su intere aree urbane è di solito limitata dalla necessità di numerosi dati e dalla complessità della modellazione globale [Keirstead et al., 2012] [Kavgic et al., 2010]. Al fine di superare questi problemi e di arrivare a risultati significativi in un tempo di calcolo adeguato, gli attuali modelli analitici adattano software esistenti [Chingcuanco et al., 2012] [Siemens, 2012] o sviluppano modelli di simulazione semplificati [Robinson et al., 2009] [Fuchs et al., 2014] [Kim et al., 2014] [Fuchs et al., 2013]. I processi di adattamento e di semplificazione solitamente consistono nell'integrazione di una vasta serie di ipotesi nelle routine di calcolo già esistenti, riducendo così la complessità del modello, in cambio di incertezza [Keirstead et al., 2012].

Un sistema urbano evidentemente ha nella realtà uno specifico micro-clima derivante dal differente irraggiamento che riceve [Casucci, 2012], dall'effetto "isola di calore" [Kolokotroni et al., 2006], dall'effetto "tunnel" del vento tra gli edifici [Yang et al., 2013], dai riflessi solari, dai fenomeni di convezione e di irraggiamento tra gli edifici, etc. Alcuni edifici in un sistema urbano si faranno ombra a vicenda. Molti di questi aspetti appena elencati variano in modo non lineare perché dipendenti dalla traiettoria solare, dall'altezza dell'edificio, dalla distanza tra essi, dalla loro posizione geografica.

Tutti questi aspetti sono interconnessi: una modellazione che possa includerli e integrarli fotograferebbe un più verosimile comportamento termodinamico di un sistema urbano. Alcuni di questi effetti possono essere analizzati separatamente tramite software specifici. Il modello analitico generalmente produce una descrizione completa del sistema urbano in quasi ogni scala spaziale o temporale [Keirstead et al., 2012]. L'applicabilità di questi modelli alla scala urbana è tuttavia limitato poiché sono necessari grandi quantità di dati e a causa dell'alta complessità nell'integrazione dei modelli termodinamici.

Uno studio a Londra [Watkins et al., 2002a] mostra che nel centro urbano l'uso dell'energia è

così intenso che il rilascio di calore non può essere trascurato. La densità dei consumi energetici nelle aree rurali è bassa, mentre nelle aree urbane è molto più alta rispetto all'energia ricevuta dal sole. Questo fenomeno prettamente urbano è chiamato "isola di calore" e ha la conseguenza di aumentare le temperature medie e di picco dell'aria, che a loro volta influenzano la domanda di riscaldamento e raffreddamento degli edifici stessi. Pertanto, in un ambiente costruito complesso, come lo sono le città, in particolare quelle europee, la temperatura dell'aria varia da posizione a posizione all'interno dello stesso centro

MODELLI IBRIDI

Per affrontare l'incertezza dei metodi analitici derivante dalle semplificazioni necessarie a ridurre la complessità del fenomeno, nuovi approcci di modellazione integrano in ingresso dati statistici. Questa nuova generazione di modelli sono detti cosiddetti "ibridi". Alcuni di essi fanno uso di audit energetici dettagliati di edifici per costruire edifici di riferimento da inserire nelle procedure analitiche [Swan et al., 2009] [Fonseca et al., 2015]. Si distinguono in questo gruppo i modelli non geo-referenziati e quelli geo-referenziati.

Un modello di mappatura fisica consente di modellare un'area urbana in dettaglio con ridotte quantità di dati utilizzando un'interfaccia visiva intuitiva facilitando la lettura dei risultati.

L'uso del quadro GIS con la sua interfaccia visiva non solo permette una coerente analisi ma è utile nei colloqui con gli stakeholder locali, architetti e urbanisti.

MODELLI NON GEO-REFERENZIATI

Tra quelli ibridi senza dimensione spaziale geo-referenziata ci sono ad esempio, Yamaguchi et al. [Yamaguchi et al., 2007] che hanno generato un database di oltre 600 edifici di riferimento per la città di Osaka ed hanno implementato un semplice modello dinamico per analizzare le misure di efficienza energetica per le applicazioni di riscaldamento degli ambienti commerciali. In Svizzera, Girardina et al. [Girardina et al., 2010] hanno costruito un database con più di 70 edifici di riferimento per la città di Ginevra nei settori

commerciale, residenziale e industriale.

Un approccio molto simile mirato alla pianificazione urbana è stato recentemente sviluppato da Reinhart et al. [Reinhart et al., 2013] che hanno costituito uno strumento parametrico con questo scopo. Gli autori hanno utilizzato 18 edifici di riferimento del patrimonio edilizio degli Stati Uniti, con informazioni sulle proprietà termodinamiche dei componenti edilizi. In contrasto con gli approcci del passato, gli autori hanno collegato queste proprietà agli edifici di un'area specifica e hanno utilizzato una versione adattata del software EnergyPlus [EnergyPlus, 2011] per calcolare la domanda di energia per il riscaldamento e quella di energia elettrica.

MODELLI IBRIDI GEO-REFERENZIATI

Un aspetto importante che caratterizza alcuni dei modelli, è il fatto di utilizzare una dimensione spaziale geo-referenziata (GIS) necessaria come piattaforma per l'allocazione e la futura disseminazione di dati spazio-temporali.

Un modello di mappatura fisica consente di modellare un'area urbana in dettaglio con basse quantità di dati utilizzando un'interfaccia visiva intuitiva per la lettura dei risultati.

Un modello statistico-analitico è stato presentato da Balocco ([Balocco et al., 1997], [Grazzini et al., 2008]): esso stima i fabbisogni di energia di un campionamento casuale di edifici derivato da una funzione di probabilità, con la ripartizione pesata tra le varie classi di edifici, e si estende all'universo degli edifici utilizzando specifici numeri adimensionali. Utilizzando una tecnica di analisi spaziale ed il GIS è possibile ottenere una mappa degli usi dell'energia di una popolazione di edifici e applicare la metodologia alla programmazione "energetica" del territorio definendo le strategie a basso impatto ambientale utilizzando indicatori termodinamici. Il metodo è stato applicato alla città di Firenze per conto ed in collaborazione con il Comune di Firenze [PEAC Firenze, 2006]. In Fig. 3 una delle molte informazioni che si possono estrarre dal modello, in particolare la mappatura del fabbisogno di energia per ogni edificio dell'ambiente urbano studiato. Attraverso gli stessi dati e l'implementazione dei dati sul traffico e meteo, è possibile anche rica-

vare mappature relative all'inquinamento dell'aria, emissione di CO₂ ed altri inquinanti (Fig. 4).

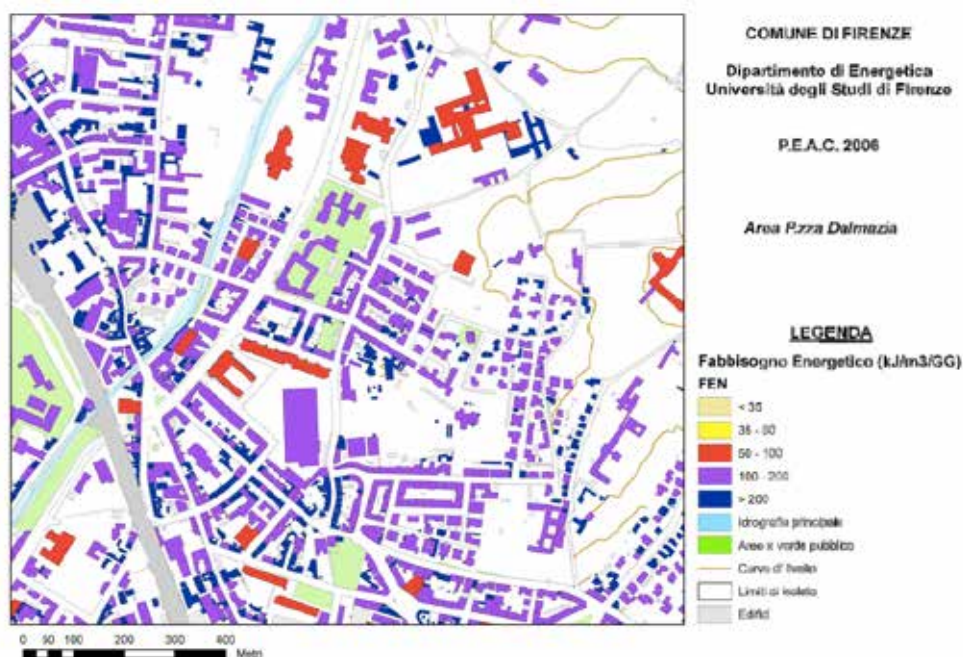


Figura 3: Mappa tematica relativa al fabbisogno energetico di una zona di Firenze [PEAC Firenze, 2006].

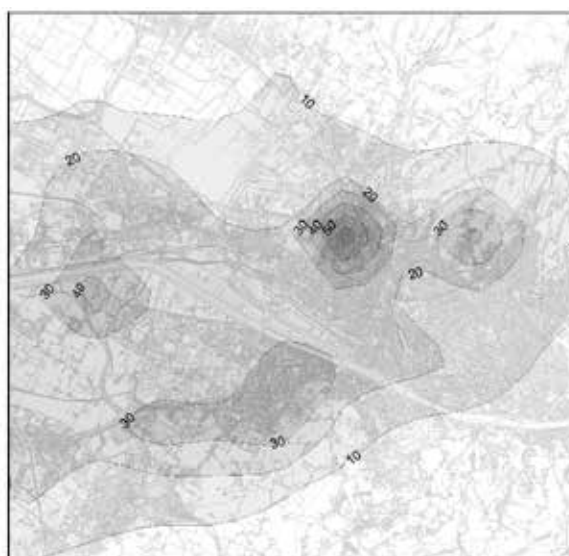


Figura 4: Concentrazione media PM10 nell'aria cittadina [PEAC Firenze, 2006].

Heiple et al. [Heiple et al., 2008] hanno implementato quasi 30 edifici di riferimento nei settori commerciale e residenziale degli Stati Uniti in una versione adattata del software eQUEST. Gli autori hanno calcolato la richiesta di potenza di riscaldamento degli ambienti, di acqua calda sanitaria e di energia elettrica a Houston e visua-

lizzato i risultati in una mappa geo-referenziata (GIS).

L'università Columbia di New York [Howard et al., 2012] ha sviluppato un modello geo-referenziato con lo scopo di analizzare ed evidenziare le dinamiche di consumo energetico locale per definire gli scenari di risparmio energetico la loro attuabilità in virtù dell'infrastruttura esistente. Il modello stima l'intensità degli usi finali dell'energia nel settore edilizio per il riscaldamento, acqua calda sanitaria, energia elettrica per il raffreddamento e l'energia elettrica per altre applicazioni per la città di New York City.

Il modello assume che tale utilizzo dipenda in primo luogo dalla funzione edilizia, residenziale, educativa, terziaria e non per esempio dal tipo di costruzione o dall'età dell'edificio. Molti sono i dati disponibili e usati per questo modello: i dati sull'energia elettrica fornita in base al codice di avviamento postale, i dati dell'uso del vettore energetico per il riscaldamento riportati dall' "Ufficio di New York per la pianificazione e la sostenibilità" e altri dati disponibili sulle prestazioni energetiche in funzione della funzione dell'edificio. La Fig. 5 mostra la distribuzione degli usi annuali di energia per la penisola di Manhattan.

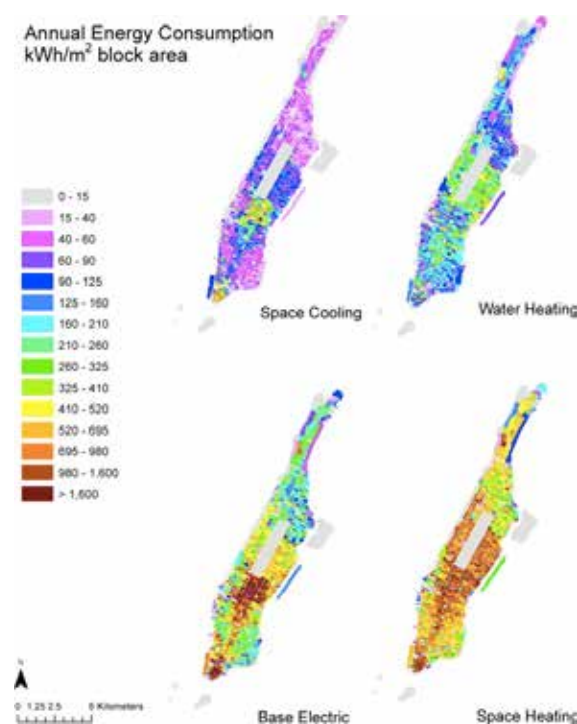


Figura 5: L'energia usata per il raffreddamento (alto a sinistra), il riscaldamento dell'acqua (alto a destra), gli usi elettrici (basso a sinistra) e per il riscaldamento (basso a destra) nella zona di Manhattan NYC [Howard et al., 2011].

La risultante stima del consumo finale di energia di ciascun lotto fiscale a New York City (visionabile pubblicamente all'indirizzo web <http://sel-columbia.github.io/nycenergy/>) può essere uno strumento prezioso per la determinazione dei costi-benefici delle politiche di attuazione di misure di efficienza energetica e programmi di sviluppo dell'uso di energia rinnovabile.

Un gruppo di ricerca dell'Università di Zurigo ha sviluppato un modello integrato per la caratterizzazione del consumo energetico spazio-temporale per quartieri o intere città. L'attenzione qui si concentra sulla determinazione della variabilità spazio-temporale dei servizi energetici tra settori residenziale, commerciale e industriale per facilitare la valutazione delle potenziali misure di efficienza energetica a livello di quartiere, distretto o a scala urbana.

Il modello, integrando i metodi esistenti nei settori urbanistici per l'analisi spaziale, per la modellazione energetica degli edifici e la mappatura dinamica dell'energia, fornisce un approccio globale, multi-scala e quindi un modello multidimensionale di analisi. Inoltre è parte di un sistema di informazione geografica (GIS), che permette l'assegnazione e la gestione dei dati spazio-temporali.

Esso può quindi essere definito un ulteriore approccio geo-referenziato ibrido. Esso descrive con passo orario la qualità (temperatura) e la quantità (potenza) degli servizi energetici, inclusi quelli in stretta relazione alle fonti di calore di scarto, residenziali, commerciali e industriali. Il modello integra parametri come la radiazione solare incidente sulle superfici degli edifici, fenomeni di auto-ombreggiatura, l'interazione dell'edificio con l'ambiente circostante e le caratteristiche specifiche della loro geometria e tipologia di involucro. Il modello prevede l'utilizzo degli edifici di riferimento, usati in ingresso al modello di simulazione dinamica energetica. Inoltre, il modello integra algoritmi di clustering (analisi a gruppi) spaziali per facilitare l'analisi dei consumi energetici per un quartiere specifico. Inoltre, il modello presenta un'interfaccia innovativa 4D per facilitare l'analisi dei dati spazio-temporali. Il modello è stato convalidato con dati misurati di un quartiere della città in Svizzera. Un applicazione esplicativa è stata fatta per la città svizzera

di Zug; la Fig 6 mostra come si possono visualizzare i dati elaborati per uno scenario di intervento sul patrimonio edilizio analizzato..

DISCUSSIONE

Gli approcci considerati in questo articolo sono spesso limitati ad applicazioni nel settore residenziale e commerciale, che sono solo una parte di quelli totali, ed identificano solo i servizi energetici principali come il riscaldamento, il condizionamento degli ambienti, l'acqua calda sanitaria e l'energia elettrica. Questi aspetti limitano la caratterizzazione dettagliata sui servizi energetici nei quartieri nel suo complesso e la possibilità di individuare fonti energetiche a bassa temperatura legate al calore di scarto. Il modello di Fonseca identifica [Fonseca et al., 2015] le maggiori risorse potenziali di calore di scarto.

Per una caratterizzazione dettagliata del consumo di energia a cui consegue una analisi delle strategie di efficienza energetica negli edifici, la costruzione della geometria reale [Balocco et al., 1997] [Yamaguchi et al., 2007] [Heiple et al., 2008] [Fonseca et al., 2015] e quindi l'influenza della radiazione solare, dell'ombreggiamento sono estremamente importanti sia per valutare l'intensità dei fenomeni che la risposta temporale dei servizi energetici.

Uno degli aspetti problematici è la mancanza dei dati usati per determinare la struttura analitica completa dei modelli e le approssimazioni e semplificazioni adottate [Kavgic et al., 2010]. In particolare tre punti, rendono problematico ogni tentativo di riprodurre i risultati : la mancanza di dati dettagliati pubblicamente disponibili, la mancata esposizione delle ipotesi fatte, così come degli algoritmi sottostanti, la mancanza di dati sulla importanza relativa delle variazioni dei parametri di ingresso sui risultati e l'incertezza quanto ai driver socio-tecnici di consumo energetico, vale a dire come le persone utilizzano l'energia e il modo in cui reagiscono ai cambiamenti nella loro casa a seguito di misure di conservazione dell'energia.

Un aspetto parallelo ma molto rilevante riguarda il fatto di poter ottenere, all'interno delle metodologie, informazioni e dati necessari per valutazioni propriamente ambientali. Gli indicatori termo-



Figura 6 : Potenziale di riduzione energetica per gli interventi di isolamento termico dell'involucro edilizio, (a) per la città di Zug, (b) gli edifici della area di studio complessiva e (c) gli edifici della zone di interesse [Fonseca et al., 2015].

dinamici possono essere variabili decisionali; ad esempio la variazione di entropia o altri parametri legati alla Seconda Legge della Termodinamica, rispondono al quesito di quale strategia nell'uso dell'energia sia realmente sostenibile per un'area urbana [Balocco et al., 20008].

La mappatura degli usi e dei servizi energetici può dare benefici in materia di progettazione urbanistica e di pianificazione energetica razionale. L'utilizzo di uno strumento di mappatura energetica, permette di prevedere i diversi flussi di domanda dell'energia nelle aree urbane e metterli in relazione con la tipologia dell'ambiente costruito esistente; inoltre permette di individuare le possibili soluzioni di miglioramento delle infrastrutture, le possibili strategie di efficienza energetica ai fini della pianificazione. I risultati dei modelli spaziali e temporali della domanda possono essere collegati ai modelli per l'ottimizzazione dei sistemi energetici che potrebbe includere l'analisi dei sistemi di conversione e di stoccaggio avanzate, l'integrazione delle risorse endogene e l'analisi di futuri vettori nei settori del trasporto, come i veicoli elettrici.

I risultati su mappa GIS sono inoltre uno strumento conoscitivo utile per analizzare e raccogliere dati spaziali con altre aree di competenza [Rager et al., 2013] [Yeo et al., 2013], ad esempio con software specializzati di gestione delle infrastrutture (ad esempio TERMIS [Termis, 2012]) oppure per mappare i dati in tempo reale, ad esempio da sensori di temperatura.

Dal punto di vista progettuale, uno strumento geo-referenziato garantisce la possibilità per gli urbanisti di analizzare l'impatto ambientale delle forme urbane nell'efficienza di un'area urbana. Le variabili urbane possono essere analizzate per dimostrare la possibile efficienza attraverso lo studio degli usi energetici e l'ottimizzazione

delle infrastrutture locali. Inoltre per ottenere una panoramica sempre più completa dei servizi energetici urbani, i layout delle reti dei servizi, l'allocazione delle risorse e l'ottimizzazione trasporto [Weber, 2010] sono integrabili alla mappatura degli usi energetici edili, individuando così le forme sostenibili di sviluppo.

CONCLUSIONI

Un modello integrato per la caratterizzazione di modelli spazio-temporali degli usi energetici di una città, di un quartiere fino ad un edificio, deve essere adatto ad un'analisi multi-scala e multi-dimensionale di scenari di strategie energetiche. Nel processo di pianificazione, un approccio geo-referenziato costituisce la base per la raccolta dei dati energetici e relativi ad altre aree di competenza. L'eventuale visualizzazione 4D (tempo) facilita le scelte, poiché consente una descrizione più intuitiva dei fenomeni connessi all'uso dell'energia negli edifici aprendo alla possibilità di integrazione di dati in tempo reale.

Il difetto principale di tutti questi modelli è la loro mancanza di trasparenza per quanto riguarda i dati e la quantificazione delle incertezze intrinseche. La mancanza di dati pubblici, disaggregati e di dettaglio in ingresso e in uscita dai modelli, rende problematico il tentativo di riprodurre lo scenario proposto [Kavgic et al., 2010].

Questi strumenti faciliteranno la quantificazione e qualificazione degli usi energetici e delle emissioni di CO₂, quindi la valutazione delle opzioni di retrofit energetico-ambientale verso l'individuazione del compromesso tra forma urbana, energia e/o infrastrutture di trasporto, costituendo un importante strumento per la definizione delle politiche urbanistiche.

BIBLIOGRAFIA

[Swan et al., 2009] Swan L. G. & Ugursal V. I. Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modelling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8):1819-1835, 2009.

[Balocco et al., 1997] Balocco C. & Grazzini G. A statistical method to evaluate urban energy

needs. *International journal of energy research*, 21(14), 1321-1330, 1997.

[Grazzini et al., 2008] Balocco C., Grazzini G. & Andreani G.B. Rational use and energy planning: a Thermodynamic and geographical approach. *Energy efficiency and research advance*, New York, Nove Science Publishers, 11-62, 2008.

[PEAC Firenze, 2006] Piano Energetico-Ambientale Comune di Firenze, in Allegato 1, <http://servizi.comune.fi.it/servizi/scheda-servizio/piano-energetico-ambientale-comunale>.

[Howard et al., 2012] Howard B., Parshall L., Thompson J., Hammer S., Dickson J. & Modi V. Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings*, 45:141-151, 2012.

[Swan et al., 2013] Swan L. G., Ugursal V. I. & Ian Beausoleil-Morrison I. Hybrid residential end-use energy and greenhouse gas emissions model, development and verification for Canada. *Journal of Building Performance Simulation*, 6(1):1-23, 2013.

[Reinhart et al., 2013] Reinhart C., Dogan T., Jakubiec J.A., Tarek Rakha, & Sang A. Umi-an urban simulation environment for building energy use, day lighting and walkability. *Proceedings of Building simulation 2013: 13th conference of International Building Performance Association*, 476-483, 2013.

[Casucci, 2012] Casucci M. Possibilità dell'uso dell'energia solare in tessuti urbani edificati. Proposta di uno strumento di calcolo in ambiente GIS. *Bollettino Ingegneri*, 60(6):16-22, 2012.

[Kolokotroni et al., 2006] Kolokotroni M., Giannitsaris I., & Watkins R. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, 80(4):383-392, 2006.

[Yang et al., 2013] Yang X. & Li Y. Development of a three-dimensional urban energy model for predicting and understanding surface tempera-

ture distribution. *Boundary-layer meteorology*, 149(2):303-321, 2013.

[Watkins et al., 2002a] Watkins R., Palmer J., Kolokotroni M. & Littlefair P. The balance of the annual heating and cooling demand within the London urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 23(4):207-213, 2002.

[Watkins et al., 2002b] Watkins R., Palmer J., Kolokotroni M. & Littlefair P. The London Heat Island{surface and air temperature measurements in a park and street gorges. *ASHRAE Transactions*, 108-419, 2002.

[Watkins et al., 2002c] Watkins R., Palmer J., Kolokotroni M. & Littlefair P. The London Heat Island: results from summertime monitoring. *Building Services Engineering Research and Technology*, 23(2):97-106, 2002.

[Keirstead et al., 2012] Keirstead J., Jennings M. & Sivakumar a. A review of urban energy system models: approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6):3847-3866, 2012.

[Robinson et al., 2009] Robinson D., Haldi F., Kampf J., Leroux P., Perez D., Rasheed A. & Wilke U. CitySim: Comprehensive micro-simulation of resource for sustainable urban planning. *Eleventh International IBPSA Conference*, 1083-1090, 2009.

[Fuchs et al., 2013] Fuchs M., Dixius T., Teichmann J., Lauster M., Streblow R. & Muller D. Evaluation of interactions between buildings and district heating networks. *Building Simulation*, 96-103, 2013.

[Farzana et al., 2014] Farzana S, Liu M, Baldwin A, Hossain M. U. Multi-model prediction and simulation of residential building energy in urban areas of Chongqing, South West China. *Energy Build* 81:161-169, 2014.

[Mikkola et al., 2014] Mikkola J. & Lund P. Models for generating place and time dependent

urban energy demand profiles. *Applied Energy*, 130:256-264, 2014.

[Sartori et al., 2009] Sartori I., Wachenfeldt B. J. & Hestnes A. G. Energy demand in the Norwegian building stock: scenarios on potential reduction. *Energy Policy* 37:1614-27, 2009.

[Firth et al., 2010] Firth S., Lomas K. & Wright A. Targeting household energy-efficiency measures using sensitivity analysis. *Building Research & Information*, 38(1), 25-41, 2010.

[Howard et al., 2012] Howard B., Parshall L., Thompson J., Hammer S., Dickinson J. & Modi V. Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings*, 45:141-51, 2012.

[Kavgic et al., 2010] Kavgic M., Mavrogianni A., Mumovic D., Summerfield A., Stevanovic Z. & Djurovic-Petrovic M. A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Build Environment*, 45:1683-97, 2010.

[Chingcuanco et al., 2012] Chingcuanco F. & Miller E. J. A microsimulation model of urban energy use: modelling residential space heating demand in ILUTE. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(2), 186-194, 2012.

[Siemens, 2012] Siemens Corporate Technology. City Life Management Tool (CLM). City a Digit Nutshell, 2012.

[Fuchs et al., 2014] Fuchs M., Dixius T., Teichmann J. & Lauster M. Evaluation of interactions between buildings and district heating networks. *Building Simulation*, 8:96-103, 2008.

[Kim et al., 2014] Kim E.J., Plessis G., Hubert J. L. & Roux J. J. Urban energy simulation: simplification and reduction of building envelope models. *Energy and Buildings*, 84, 193-202, 2014.

[Yamaguchi et al., 2007] Yamaguchi Y., Shimoda Y. & Mizuno M. Proposal of a modeling approach considering urban form for evaluation of city

level energy management. *Energy and Building*, 39:580-92, 2007.

[Girardin et al., 2010] Girardin L., Marechal F., Dubuis M., Calame-Darbellay N. & Favrat D. EnerGis: a geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas. *Energy*, 35:830-40, 2010.

[EnergyPlus, 2011] U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy. EnergyPlus 8.10: energy simulation software, 2011.

[Heiple et al., 2008] Heiple S. & Sailor D.J. Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. *Energy and Buildings*, 40:1426-1436, 2008.

[Yamaguchi et al., 2007] Yamaguchi Y., Shimoda Y. & Mizuno M. Proposal of a modeling approach considering urban form for evaluation of city level energy management. *Energy and Buildings*, 39:580–92, 2007.

[Weber et al., 2010] Weber C., Keirstead J., Samsatli N., Shah N. & Fisk D. Trade-offs between layout of cities and design of district energy systems. *Proceedings of ECOS 2010: 23rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, 2010.

[Keirstead et al., 2011] Keirstead J. & Shah N. Calculating minimum energy urban layouts with mathematical programming and Monte Carlo analysis techniques. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35:368–77, 2011.

[Yeo et al., 2013] Yeo I.A., Yoon S.H. & Yee J. Development of an urban energy demand forecasting system to support environmentally friendly urban planning. *Applied Energy* 110:304–17, 2010.

[Rager et al., 2013] Rager J., Rebeix D., Marechal F., Cherix G. & Capezzali M. MEU: an urban energy management tool for communities and

multi-energy utilities. *Proceedings of CISBAT*, 897–902, 2013.

[Termis, 2012] Schneider Electric. Termis 5.0: district energy management; 2012 < <http://www.schneider-electric.com/en/product-range/61418-termis-software/> > [accessed 21.12.15]

[IEA, 1998] IEA. Mapping the energy future: energy modelling and climate change policy. Energy and environment policy analysis series. *International Energy Agency / Organisation for Economic Co-operation and Development*, Paris, France, 1998.

GIUSEPPE GRAZZINI, fa parte del Dipartimento di Ingegneria Industriale come Professore Ordinario di Fisica Tecnica presso la Scuola di Ingegneria di Firenze, già docente presso lo IUAV di Venezia e ricercatore presso l'Istituto di Fisica Tecnica dell'Università di Bologna.

Laureato in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Bologna nel 1973.

Svolge studi nei campi dell'uso razionale dell'energia, della termodinamica, dello scambio termico, dell'uso energia solare. Ha pubblicato oltre 120 articoli nei campi dell'uso razionale dell'energia, della termodinamica, dello scambio termico, dell'uso energia solare.

Membro: A.I.C.A.R.R. (Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Refrigerazione Riscaldamento), I.I.R. (International Institute of Refrigeration).

MARTA GIULIA BALDI, è titolare di borsa di ricerca nel settore dell'uso dell'energia a livello urbano presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Firenze. Laurea in Ingegneria Edile all'Università di Firenze, e Ph.D. nel dottorato congiunto tra Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze e T.U. Braunschweig.

I principali campi di interesse sono: analisi degli usi di energia urbani, sviluppo di indicatori di sostenibilità ambientale utili per la pianificazione urbana, Architettura bioclimatica e resilienza energetica urbana.